

LA TAZA QUE SOBREVIVIÓ UNA CAÍDA LIBRE

Rafael Garcia Molina

Departamento de Física - CIOyN, Universidad de Murcia, Apartado 4021, 30080 Murcia
(rgm@um.es)

[Recibido en Diciembre de 2007, aceptado en Diciembre de 2007]

Palabras clave: *caída libre; fricción por enrollamiento; péndulo de longitud variable.*

En este trabajo se discute una experiencia clásica de la física recreativa, que consiste en dejar caer una taza (o cualquier otro objeto delicado, para que sea más efectiva la demostración) desde cierta altura. Siguiendo los pasos que detallaremos a continuación, la taza se detendrá unos centímetros antes de llegar al suelo, saliendo indemne de una caída que presagiaba un desastre. Además de ser un impactante entretenimiento para captar la atención del público (familiar, alumnos...), esta experiencia pone de manifiesto que la velocidad angular de un péndulo aumenta cuando disminuye su longitud y que la fuerza de fricción por enrollamiento aumenta exponencialmente con el número de vueltas.



Figura1.- La taza de la suegra está a punto de caer; L_0 es la longitud inicial del hilo que va desde el palillo chino (A) hasta el abalorio (B).

A continuación se enumeran los materiales necesarios:

- Una taza u otro objeto de aproximadamente 100 g de masa (impresiona más si el objeto tiene algún valor: sentimental, económico...).

- Un palillo chino (o cualquier varilla rígida, tal como un lápiz).
- Hilo resistente ($< 2 \text{ m}$). Aunque puede usarse cualquier tipo de hilo, el mejor es el que se emplea para encuadernar libros o para zurcir redes.
- Un objeto pequeño y mucho más ligero que la taza (por ejemplo, un abalorio de collar, una moneda agujereada, un clip metálico...).

El procedimiento es el siguiente. Se anuda un extremo del hilo en el asa de la taza y el otro extremo en el abalorio, de manera que la longitud total sea de aproximadamente 1,5 m, para poder extender el hilo con los brazos abiertos.

Se sostiene el hilo verticalmente tomando con una mano el extremo donde está el abalorio. El brazo ha de estar completamente extendido y horizontal, para mostrar la taza colgada del otro extremo, casi tocando el suelo; haciéndola sonar al golpearla ligeramente contra el suelo o cualquier otro objeto se pone de manifiesto su fragilidad.

A continuación, con la otra mano, que tiene el palillo chino, se levanta el hilo (y la taza que sostiene) hasta que el brazo está completamente extendido y horizontal. Para los suspicaces, se muestra claramente que el palillo se ha colocado por debajo del hilo, sin que éste le dé ninguna vuelta y tan sólo sosteniéndolo.

La Figura 1 muestra la puesta en escena. Prácticamente con los brazos en cruz, una mano (B) sostendrá el extremo del hilo que tiene el objeto ligero, mientras que la otra mano (A) tendrá el palillo chino dispuesto horizontalmente y dirigido hacia el público, por encima del cual pasará el hilo; la taza colgará algunos centímetros por debajo del palillo chino.

Ahora se trata de ambientar la situación y explicar que la taza es una valiosa y apreciada herencia de la suegra (o cualquier otro ser querido), la cual vamos a dejar caer libremente, sin más que soltar el abalorio que sostiene la mano B.

Ante la sorpresa del público, la caída libre de la taza se ve interrumpida súbitamente unos pocos centímetros antes de que ésta se estrelle contra el suelo, evitando que se rompa en mil pedazos (Figura 2).

Puede explicarse el sorprendente resultado de esta experiencia recurriendo a conocimientos básicos del movimiento de un péndulo ideal, lo cual resulta asequible para estudiantes de Secundaria y el público en general. Para ello sólo hay que saber que el periodo T de un péndulo aumenta con su longitud L (no es necesario saber la forma exacta, pero se puede recordar que la relación es $T = 2\pi\sqrt{L/g}$). El péndulo al que nos hemos referido estaría formado por el abalorio que sostenemos con la mano B y el hilo que lo une a la varilla. Al soltar el abalorio, este péndulo tiene una longitud L

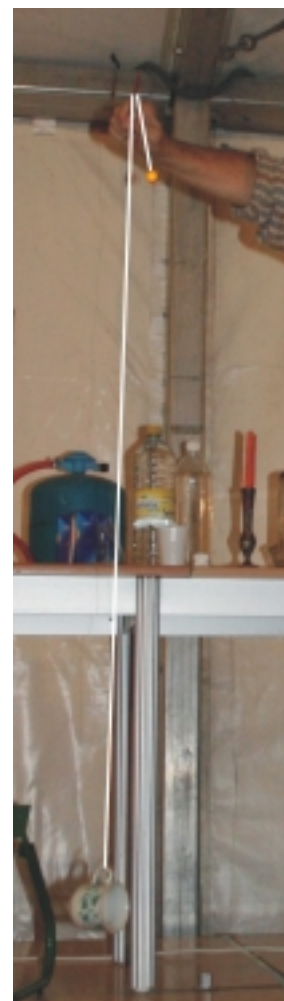


Figura 2.- La taza no llega al suelo y se salva de hacerse añicos... ¡gracias a las leyes de la Física!

grande y, por lo tanto, su movimiento es lento (T grande). Pero L disminuye muy rápidamente (y T también), debido a la caída libre de la taza, por lo que la velocidad del péndulo aumenta considerablemente, hasta el punto de que adquiere suficiente velocidad para enrollarse alrededor de la varilla y, tras dar unas pocas vueltas, el hilo (y con él la taza) cesa en su movimiento debido a la enorme fuerza de fricción entre la varilla y el hilo, la cual varía exponencialmente con el número de vueltas, tal como corresponde a la fricción por enrollamiento (Horton, 1963).

También se puede dar una explicación más elaborada, que resulta adecuada para estudiantes universitarios, planteando la ecuación diferencial del movimiento de un péndulo cuya longitud disminuye de acuerdo con la expresión $L = L_0 - gt^2/2$, a medida que desciende la taza en caída libre; en la expresión anterior L_0 es la longitud inicial del péndulo (la distancia entre el pequeño objeto y la varilla que aparece en la Figura 1) y g es la aceleración debida a la gravedad terrestre; t es el tiempo transcurrido desde que se deja caer la taza. Esta ecuación diferencial es

$$\frac{d^2\vartheta}{dt^2} - \frac{2gt}{L} \frac{d\vartheta}{dt} + \frac{g}{L} \sin\vartheta = 0 ,$$

cuya solución se obtiene numéricamente. La Figura 3 representa la evolución temporal de las posiciones de la taza y del extremo del hilo, cuando la distancia inicial entre el abalorio y la varilla es $L_0=1,5$ m. Puede comprobarse que antes de que la taza caiga 1,5 m, el hilo ya ha dado varias vueltas alrededor de la varilla, con lo cual se frena antes de que la taza llegue al suelo.

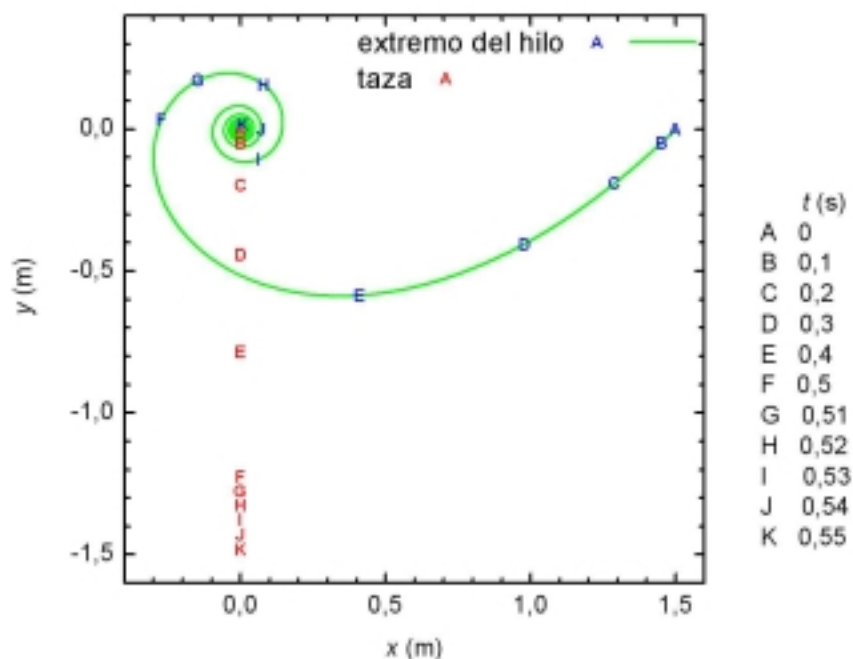


Figura 3.- Evolución temporal de las posiciones que ocupa el abalorio (línea verde) y la taza (letras rojas). La columna de la derecha indica el tiempo transcurrido desde que se deja caer la taza.

Por diversas circunstancias (un despiste, un mal movimiento...) puede suceder que la taza no se frene al caer y se rompa. Si la taza es realmente valiosa (y no una de "Todo a 1 €", como la que yo uso) hay que asumir el disgusto (y la posible reprimenda) que conlleva la rotura de un objeto realmente apreciado. Por ello, conviene practicar por adelantado esta experiencia colocando algo mullido (un cojín, césped...) bajo la taza, hasta que se hayan optimizado los parámetros que intervienen en el experimento: tipo de varilla, longitud y resistencia del hilo, altura a la cual se colocan las manos...

REFERENCIAS

Horton, G.W. (1963). $T = T_0 \exp(-\mu\theta)$. *American Journal of Physics*, 31, p. 391.

THE CUP THAT SURVIVED A FREE FALL

Keywords: *free fall; belt friction; pendulum of variable length.*